

COVID-19

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-11-26>

Первичная и проспективная визуализация грудной клетки при магнитно-резонансной томографии у пациентов с вирусным поражением легких при COVID-19

© Усов В.Ю.^{1*}, Нуднов Н.В.², Игнатенко Г.А.³, Гуляев В.М.¹, Первак М.Б.³,
Шелковникова Т.А.¹, Дубовая А.В.³, Берген Т.А.⁴

¹ НИИ кардиологии ТНМЦ РАН; 634012 Томск, ул. Киевская, 111-А, Российская Федерация

² ФГБУ “Российский научный центр рентгенорадиологии” Минздрава России; 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

³ ГОУ ВПО “Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького”; 283003 Донецк, пр. Ильича, 16, Российская Федерация

⁴ ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина” Минздрава России; 630055 Новосибирск, ул. Речкуновская, 15, Российская Федерация

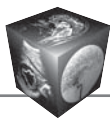
Цель исследования. Исходя из ранее полученных результатов о доказанно высокой эффективности магнитно-резонансной томографии органов грудной клетки (МРТ ОГК) в визуализации важнейших заболеваний легких, в нынешний период массовой заболеваемости вирусными пневмониями (ВП), вызванными COVID-19, мы попытались изучить возможность использования МРТ ОГК для визуализации поражения легких при этой патологии как в аспекте первичного выявления, так и для проспективного контроля ремиссии.

Материал и методы. МРТ ОГК в T1-, T2-взвешенных режимах (T1ВИ, T2ВИ), в том числе с подавлением жира, диффузионно-взвешенном, STIR-режимах, в аксиальных и фронтальных плоскостях, с задержкой дыхания, или с автоматической синхронизацией записи с дыханием было проведено у 47 пациентов с ВП различной тяжести, из них у 32 был при ПЦР подтвержден COVID-19, у всех имела место клиника пневмонии. В контроле было обследовано 15 добровольцев, 8 некурящих, и 7 – курящих. У 18 пациентов также было выполнено СРКТ исследование ОГК, с шагом 0,5–1,25 мм, с полным охватом грудной клетки и реконструкцией аксиальных и фронтальных томосрезов, с сравнением МРТ и СРКТ ОГК. У 8 пациентов МРТ ОГК была затем выполнено повторно, для томографического контроля клинического выздоровления. Умерших среди наших пациентов не было

Результаты. Продолжительность полного МРТ-исследования ОГК составила во всех случаях менее 25 мин (в среднем 21 ± 4 мин), при СРКТ ОГК, менее 10 мин. Во всех случаях МРТ-визуализация пораженной области достигалась уже при использовании группы протоколов МРТ, которая включала аксиальных T1ВИ и аксиальных и фронтальных T2ВИ, и длилась < 12 мин, считая время на укладку пациента.

В норме у обследованных без патологии легких, не куривших, паренхима легких визуализировалась как диффузно-однородная область с сохранной воздушностью и минимальной долей интерстициального и сосудистого пространства. У обследованных-курильщиков, легочной рисунок МРТ ОГК оказывался незначительно усилен в дорсальных участках обоих легких, нарушения воздушности и интерстициальные экссудативные изменения отсутствовали. В острой фазе заболевания нарушения легочной вентиляции и интерстициальные экссудативные изменения, составляющие морфологическую основу поражения легких при COVID-19 визуализировались как локальное, соответствующее расположению и характеру (субсегментарное, сегментарное, полисегментарное) патологического очага усиление как T1ВИ, так и T2ВИ.

МРТ ОГК обеспечила визуализацию патологии легких во всех случаях, при этом протяженность патологического очага на МРТ изображении в T2-ВИ была на 14–19% больше, чем на СРКТ. Корреляция вычисленного объема пораженной ткани легкого между СРКТ и МРТ ОГК составила $r = 0,95$ ($p < 0,001$). Величины объема пораженной ткани в T1ВИ и T2ВИ между собой при межгрупповом сравнении не различались и коррелировали сильно и достоверно, $r = 0,985$ ($p < 0,001$). МРТ в DWI режиме показала в выявлении COVID-поражения легких чувствительность 81% (38/47). Продолжительность DWI во всех случаях была более 6 мин, более чем вдвое дольше всех других протоколов МРТ вместе взятых. Объем плеврального выпота, хорошо видимый при помощи T2ВИ, во всех наших случаях не превышал 100 мл. При проспективном наблюдении у 8 пациентов с COVID-19, МРТ ОГК позволила во всех случаях доказательно визуализировать процесс выздоровления, с уменьшением или полным регрессом компонента экссудации.



Заключение. МРТ органов грудной клетки с дыхательной синхронизацией или с задержкой дыхания может использоваться для ранней диагностики воспалительных поражений легких при COVID-вирусных пневмониях и их последующем проспективном контроле, не сопровождается лучевой нагрузкой и высокодостоверно коррелирует с результатами СРКТ грудной клетки как современного стандарта диагностики пневмоний.

Ключевые слова: пневмонии, вирусные пневмонии, COVID-19, МРТ легких, ранняя диагностика, контроль лечения

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Усов В.Ю., Нуднов Н.В., Игнатенко Г.А., Гуляев В.М., Первак М.Б., Шелковникова Т.А., Дубовая А.В., Берген Т.А. Первичная и проспективная визуализация грудной клетки при магнитно-резонансной томографии у пациентов с вирусным поражением легких при COVID-19. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (4): 11–26. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-11-26>

Поступила в редакцию: 01.12.20.

Принята к печати: 07.12.20.

Опубликована online: 10.12.2020.

Primary and prospective imaging of the chest using magnetic resonance imaging in patients with viral lung damage in COVID-19

© Wladimir Yu. Ussov^{1*}, Nikolay V. Nudnov², Grigory A. Ignatenko³, Vsevolod M. Gulyaev¹, Marina B. Pervak³, Tatiana A. Shelkovnikova¹, Anna V. Dubovaya³, Tatiana A. Bergen⁴

¹ Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research center of the Russian Academy of Sciences; 111-A, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Health of Russia; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

³ M. Gorky Donetsk National Medical University; Ilyicha prosp., 16, Donetsk 283003, Russian Federation

⁴ National research Center – Academician E.N. Meshalkin State Research Institute of Circulation Pathology; 15, Rechkunovskaya str., Novosibirsk 630055, Russian Federation

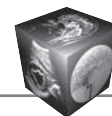
Purpose of the study. Basing on the previously obtained results on the proven high efficiency of magnetic resonance imaging (MRI) of the chest organs in the visualization of major lung diseases, in the current period of mass incidence of viral pneumonia (VP) caused by COVID-19, we tried to study the possibility of using MRI OGK to image lung damage in this pathology both in primary detection and for follow-up reconvalescence control.

Material and methods. MRI of the chest in T1 -, T2-weighted modes (T1-w, T2-w), also with fat suppression, diffusion-weighted, STIR-modes, in the axial and frontal planes, with breath holding, or with automatic synchronization of acquisition with breathing was carried-out in 47 patients with VP of various severity, 32 of them were confirmed by PCR as COVID-19, all did have a clinic of pneumonia. The control group comprised 15 volunteers, of them 8 non-smokers, and 7 smokers. In 18 patients, an CT study of the chest was also performed, with a step of 0.5–1.25 mm, with full coverage of the chest and reconstruction of axial and frontal slices, with a comparison of MRI and CT of the chest. In 8 patients, MRI of the chest was then performed again, for follow-up control of clinical recovery. There were no deaths among our patients

Results. The duration of a complete MRI examination of the chest was less than 25 minutes in all cases (21 ± 4 minutes on average), and less than 10 minutes in the chest CT. In all cases, MRI imaging of the affected area was achieved using a group of MRI protocols, which included axial T1-w and axial and frontal T2-w, and lasted < 12 minutes, counting the time for laying the patient.

In normal patients without pathology of the lungs, not smoking, the lung was visualized as a diffuse homogeneous air region with a minimum share interstitial and vascular space. In patients - smokers, lung MRI was slightly enhanced in the dorsal parts of both lungs, disorders of airiness and interstitial exudative changes weren't present. In the acute phase of the disease, pulmonary ventilation disorders and interstitial exudative changes that form the morphological basis of lung damage in COVID-19 were visualized as local, corresponding to the location and nature (sub-segmental, segmental, polysegmental) of the pathological focus, both T1-w and T2-w modes.

MRI of the chest provided diagnosis of lung pathology in all cases, while the extent of the pathological focus on the MRI image in T2-w was 14–19% greater than on the CT. The correlation of the calculated volume of affected lung tissue between CT and MRI of the chest was as high as $r = 0.95$ ($p < 0.001$). The values of the volume of the affected tissue in T1-w and T2-w did not differ from each other in the intergroup comparison and correlated strong-



ly and reliably, $r = 0.985$ ($p < 0.001$). MRI in DWI mode showed a sensitivity of 81% (38/47) in detecting COVID-lung lesions. The duration of DWI in all cases was more than 6 minutes, more than twice as long as all other MRI protocols together. The volume of pleural effusion, clearly visible with T2-VI, in all our cases did not exceed 100 ml. In a prospective follow-up of 8 patients with COVID-19, chest MRI provided evidence-based visualization of the recovery process in all cases, with a decrease or complete regression of the exudation component.

Conclusion. MRI of the chest with respiratory synchronization or with breath-holding can be used for early diagnosis of inflammatory lung lesions in COVID-viral pneumonia and for subsequent follow-up control, is not accompanied by radiation exposure and closely correlates with the results of chest CT recruited as a modern standard for the diagnosis of pneumonia.

Keywords: pneumonia, virus pneumonia, COVID-19, MRI of lungs, early diagnosis, follow-up, control of treatment

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Ussov V.Yu., Nudnov N.V., Ignatenko G.A., Gulyaev V.M., Pervak M.B., Shelkovnikova T.A., Dubovaya A.V., Beregen T.A. Primary and prospective imaging of the chest using magnetic resonance imaging in patients with viral lung damage in COVID-19. *Medical Visualization*. 2020; 24 (4): 11–26.

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-11-26>

Received: 01.12.20.

Accepted for publication: 07.12.20.

Published online: 10.12.2020.

Введение

Высокая частота поражений легких у пациентов с вирусной инфекцией COVID-19, в том числе с развитием вирусной пневмонии (ВП), тяжелых степеней дыхательной недостаточности, приводящая к социально значимым повышениям смертности [1], необходимость как можно более детальной характеристики патологических изменений органов грудной клетки (ОГК) и, в частности, легких при этом заболевании [2] составляют сегодня одну из важнейших медико-социальных и одновременно – медико-технических проблем. Методом выбора в первичной диагностике поражений легких при COVID-19 сегодня общепринята спиральная рентгеновская компьютерная томография (СРКТ) ОГК. Необходимое зачастую по клиническому состоянию повторное многократное выполнение СРКТ легких у пациентов с вирусными пневмониями (ВП) критически ограничено ее неизбежной и значительной лучевой нагрузкой [3]. Возможности ультразвукового исследования ограничиваются визуализацией периферических отделов легких, без полной пространственной картины состояния ОГК [4]. Другие методы томографической визуализации легких, альтернативные или дополнительные к СРКТ, в ходе нынешней эпидемии ВП пока в заметной степени не рассматриваются, что несколько парадоксально, учитывая многократно подтвержденные огромные возможности ОФЭКТ в визуализации механизмов легочного воспаления, перфузионных и вентиляционных нарушений [5, 6]. Детального клинко-рентгенологического опыта использования МРТ для визуализации ОГК при COVID-19 в отечественной и мировой литературе пока в достаточной степени не представлено, хотя первые сообщения, подтвердившие диагностическое значение МРТ ОГК при COVID-19 последовали в отечествен-

ной литературе в первые месяцы начала пандемии [7, 8, 9]. Еще в начале 2000-х было исчерпывающе и на значительном и тщательно отобранном материале доказана высокая эффективность МРТ ОГК в визуализации важнейших заболеваний легких [10, 11]. Поэтому в нынешний период массовой заболеваемости ВП, вызванной COVID-19, мы попытались изучить возможность использования МРТ ОГК для визуализации поражения легких при этой патологии как в аспекте первичного выявления, так и для проспективного контроля ремиссии.

Материал и методы

В условиях стационаров и амбулаторного приема Москвы, Донецка, Новосибирска и Томска в период весны-лета-осени 2020 г. методом МРТ ОГК было обследовано 47 пациентов с ВП различной тяжести, из них на момент или впоследствии у 32 был вирусологически средствами ПЦР подтвержден факт инфицирования COVID-19, у всех имела место клиника пневмонии. В качестве контрольных условно здоровых было обследовано 15 медиков – добровольцев сходного возраста, из них 8 некурящих, и 7 – курящих, с ежегодными эпизодами бронхита. Исследование у больных было выполнено в течение двух дней после первичного обращения, до начала активной терапии патологии. У 21 пациента отмечалось снижение насыщения капиллярной крови по кислороду (pO_2) менее 95%, в том числе у 8 – менее 90%.

МРТ-исследование ОГК выполнялось всем пациентам на МРТ-сканерах Toshiba Titan Vantage 1,5 T (Canon Medical), Ingenia 1,5 T и Ingenia Ambition 1,5T (Philips Medical), Magnetom Open (Siemens Medical) и A3-300 (A3) в T1-, T2-взвешенных режимах (T1ВИ, T2ВИ), в том числе с подавлением сигнала от жира, диффузионно-взвешенном, STIR-режимах, в аксиальных и фронтальных пло-

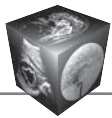


Таблица. Параметры протоколов МРТ, использованные в настоящем исследовании при визуализации поражений легких при ВП, вызванной COVID-19

Table. Parameters of MRI protocols employed in this study for lung imaging in virus pneumonia induced by COVID

Протоколы и расположение срезов Protocols and position of slices	Матрица, размеры поля зрения Matrix and FoV extent	Временные показатели эхо и повторения Times of repetition and of echo	Синхронизация записи с физиологическими сигналами Synchronization of acquisition with physiologic signals	Общая продолжительность исследования на сканере 1,5 T Overall time length when using 1,5 T scanner
Аксиальный, T1-взв. Axial T1-w	256 × 256 42 × 42 см	TR = 500–1900 мс TE = 15–32 мс	С дыханием Breath-synchronized	До 3 мин 40 с
Аксиальный, T2-взв. Axial T2-w	256 × 256 42 × 42 см	TR = 3000 мс TE = 90 мс	С дыханием, либо задержка дыхания Breath-synchronized or breath-holding	До 3 мин 40 с
Фронтальный, T1-взв. Coronal T1-w	256 × 392, 256 × 256; 42 × 42 см	TR=500–1900 мс TE=15–32 мс	Задержка дыхания Breath-holding	До 2 мин 20 с
Фронтальный, T2-взв. Coronal T2-w	256 × 392, 256 × 256; 42 × 42 см	TR = 3000 мс TE = 90 мс	С дыханием Breath-synchronized	До 2 мин 30 с

скостях, с задержкой дыхания, или с автоматической синхронизацией записи с дыханием по соответствующему датчику грудной клетки. Параметры основных протоколов, использованных для визуализации ОГК в нашем исследовании, представлены в таблице.

У 18 пациентов также с помощью 16–128 рядных спиральных рентгеновских томографов Philips Brilliance (Philips Medical), Somatom Definition (Siemens Medical) и КТР-64 (НПФ Электрон, Санкт-Петербург) с шагом 0,5–1,25 мм, с полным охватом грудной клетки и последующей реконструкцией аксиальных и фронтальных томосрезков, с сравнением результатов МРТ и СРКТ исследований ОГК.

У 8 пациентов МРТ ОГК была затем выполнено повторно, для томографического контроля клинического выздоровления. Умерших среди наших пациентов не было и морфологического подтверждения состояния ткани легких не имелось ни в одном случае.

Статистический анализ результатов выполнялся с использованием пакета прикладных программ Origin 6.1 (OriginLab, Texas).

Результаты

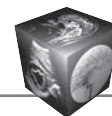
Продолжительность полного МРТ-исследования ОГК составила во всех случаях менее 25 мин (в среднем 21 ± 4 мин), что весьма уступало скорости СРКТ ОГК, при которой ни разу длительность, с учетом укладки пациента, не была больше 10 мин. Во всех случаях полный охват и полноценная диагностическая визуализация пораженной области достигалась уже при использовании

т.н. рациональной группы протоколов МРТ органов грудной клетки, которая включала в себя Т1ВИ в аксиальных срезах и Т2ВИ в аксиальных и фронтальных срезах, полученные на задержке дыхания на вдохе, либо с синхронизацией по дыханию, и длилась менее 12 мин, считая время на укладку и подъем пациента после исследования. Ни разу не было случая, когда МРТ ОГК было бы не завершено по субъективным причинам невозможности сохранять положение лежа, выполнять команды на краткую задержку дыхания и подобным.

В норме, у обследованных без патологии легких, не куривших, паренхима легких визуализировалась как диффузно-однородная область с сохраненной воздушностью и минимальной долей интерстициального и сосудистого пространства, без признаков узловой или диффузно-инфильтративной патологии, без наличия жидкости в плевральных карманах, при отсутствии расширения и смещения пищевода и нормальных сосудистых и воздухоносных структур средостения и собственно сердца и сердечной сумки (рис. 1 а–г).

У обследованных-курильщиков, неоднократно переносивших бронхиальные воспалительные заболевания, легочной рисунок МРТ ОГК оказывался незначительно усилен в дорсальных участках обоих легких, но при этом нарушения воздушности и интерстициальные экссудативные изменения отсутствовали (рис. 2).

В трех случаях мы наблюдали отсутствие каких либо патологических изменений МРТ картины легких на Т1ВИ при минимальных (сомнительных) мелкоочаговых неоднородностях изображения



на T2ВИ при повторных положительных тестах ПЦР на COVID-19 у клинически асимптомных пациентов, как представлено на рис. 3. Все трое были молодыми людьми до 35 лет, спортсменами.

В острой фазе заболевания нарушения легочной вентиляции и интерстициальные экссудативные изменения, составляющие морфологическую основу поражения легких при COVID-19 [2] визуализировались как локальное, соответствующее расположению и характеру (субсегментарное, сегментарное, полисегментарное) патологического очага усиление как T1ВИ, так и T2ВИ, как можно видеть на рис.4–6.

MPT ОГК обеспечила визуализацию патологии легких во всех случаях, в частности, очаговые субсегментарные поражения размерами более 15 мм визуализировались во всех случаях одновременно средствами MPT и СРКТ ОГК. При этом протяженность патологического очага на MPT изображении в T2ВИ была несколько больше, чем на СРКТ-скане. Типичные примеры соотношения визуальной картины поражения легких ВП COVID-19 представлен на рис. 7, 8, а результаты корреляционного анализа размеров патологических очагов на изображениях СРКТ и MPT ОГК – на рис. 9.

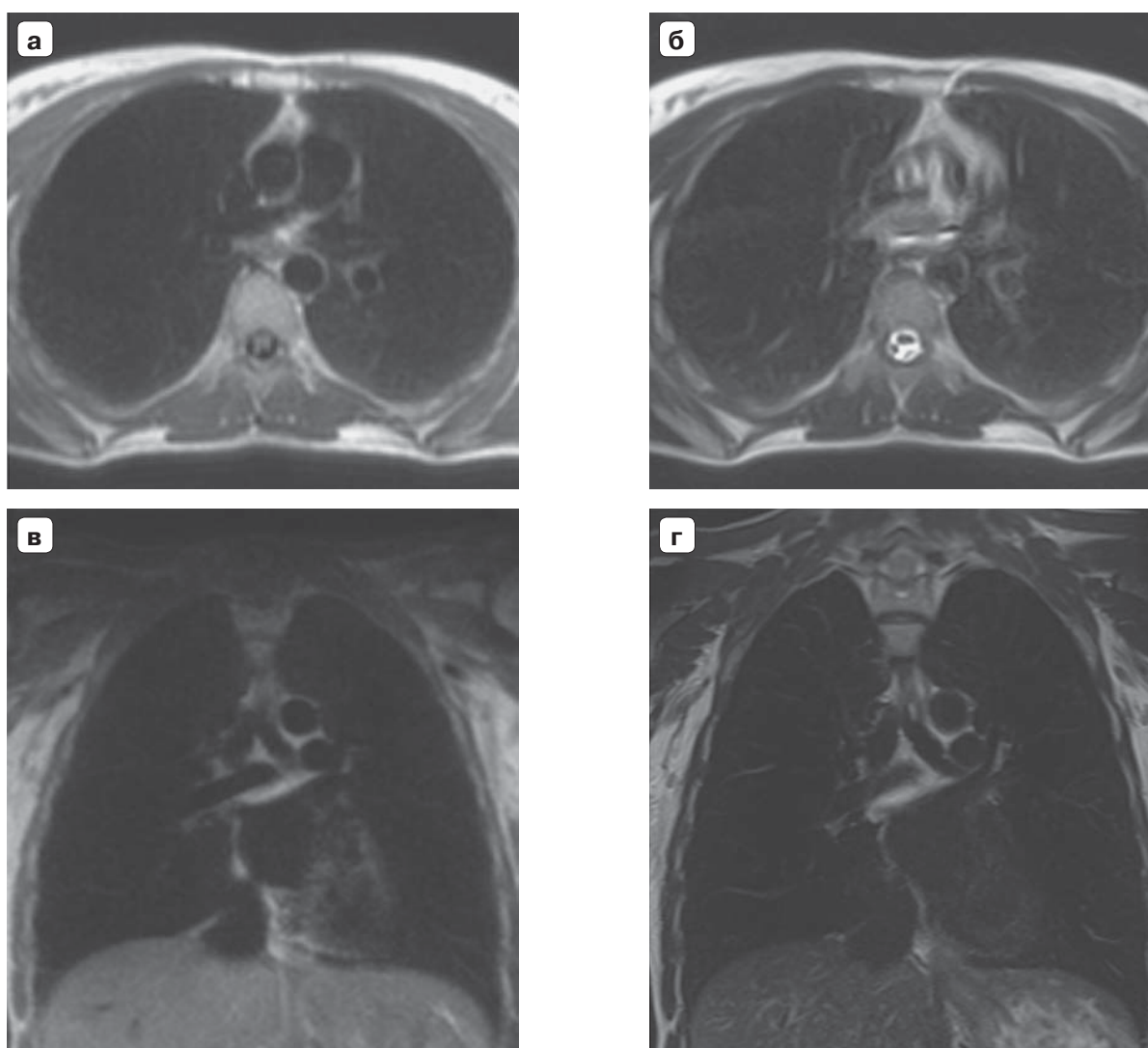


Рис. 1. Картина T1ВИ и T2ВИ MPT ОГК у здоровой обследованной без анамнеза курения и воспалительных поражений легких и бронхиальной системы. На момент исследования $pO_2 = 99\%$. Верхний ряд – аксиальные томограммы, нижний ряд – томограммы в фронтальной плоскости. **а, в** – MPT ОГК в T1ВИ; **б, г** – в T2ВИ.

Fig. 1. The picture of T1-w and T2-w MRI of chest in a healthy lady without a history of smoking and inflammatory lesions of the lungs and bronchial system. At the time of the study, $pO_2 = 99\%$. The upper row -axial tomograms, the lower row-tomograms in the frontal plane. **а, в** – T1-w MRI of the chest; **б, г** – T2-w MRI.

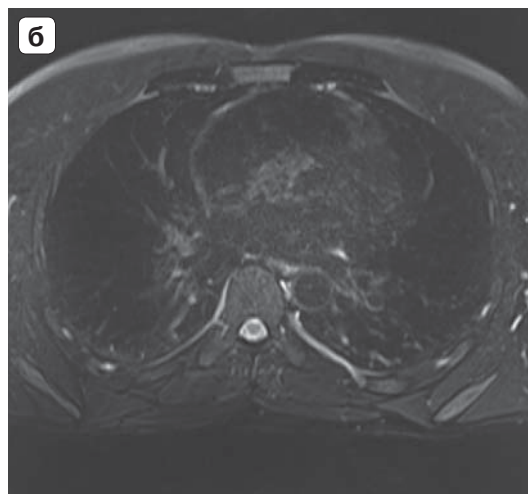
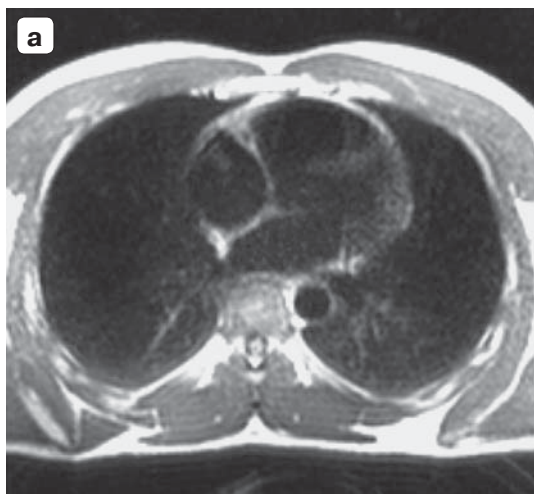
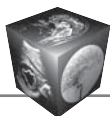


Рис. 2. T1ВИ (а) и T2ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани (б) МРТ ОГК у клинически здорового пациента с ПЦР-подтвержденным отсутствием заражения COVID-19, длительно, более 15 лет, курящего более 5 сигарет в день. Обращает внимание усиление легочного рисунка в дорсальных участках обоих легких. На момент исследования $pO_2 = 98\%$.

Fig. 2. T1-w (a) and T2-w with suppression of the signal from fat (b) MRI of the chest in a clinically healthy patient with PCR-confirmed absence of COVID-19 infection, for a long time, more than 15 years, smoking more than 5 cigarettes a day. Attention is drawn to the strengthening of the pulmonary pattern in the dorsal areas of both lungs. At the time of the study, $pO_2 = 98\%$.

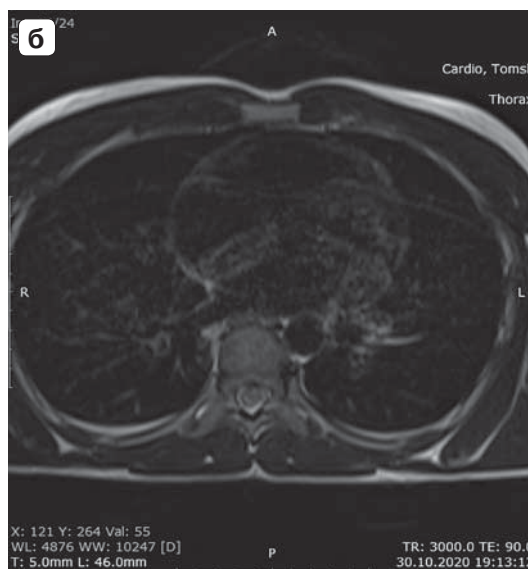
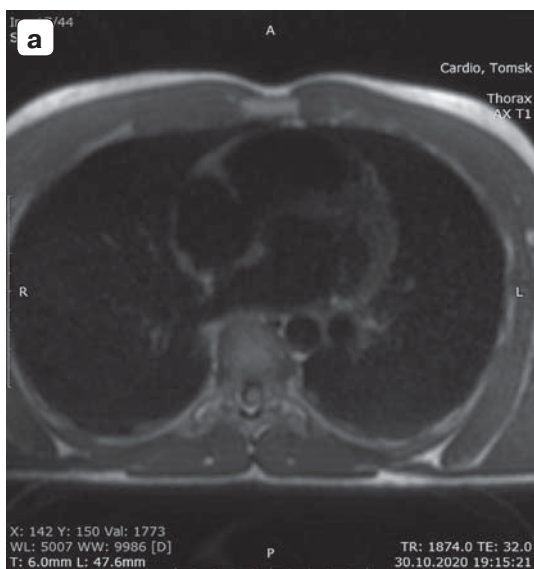


Рис. 3. Картина аксиальных томографических срезов МРТ-исследования в T1ВИ (а) и T2ВИ (б) у клинически бессимптомного молодого обследованного с ПЦР-подтвержденным инфицированием COVID-19. На T1ВИ МРТ (а) – без видимой патологии. На T2ВИ МРТ – признаки минимального мелкоочагового (все менее 12 мм) и перибронхиального усиления изображения. На момент исследования $pO_2 = 98\%$.

Fig. 3. The picture of axial tomographic slices of the MRI study in T1-w (a) and T2-w (b) in a clinically asymptomatic young subject with PCR – confirmed COVID-19 infection. On T1-w MRI (a) – without visible pathology. On T2-w MRI-signs of minimal fine-focal (less than 12 mm) and peribronchial infiltration. At the time of the study, $pO_2 = 98\%$.

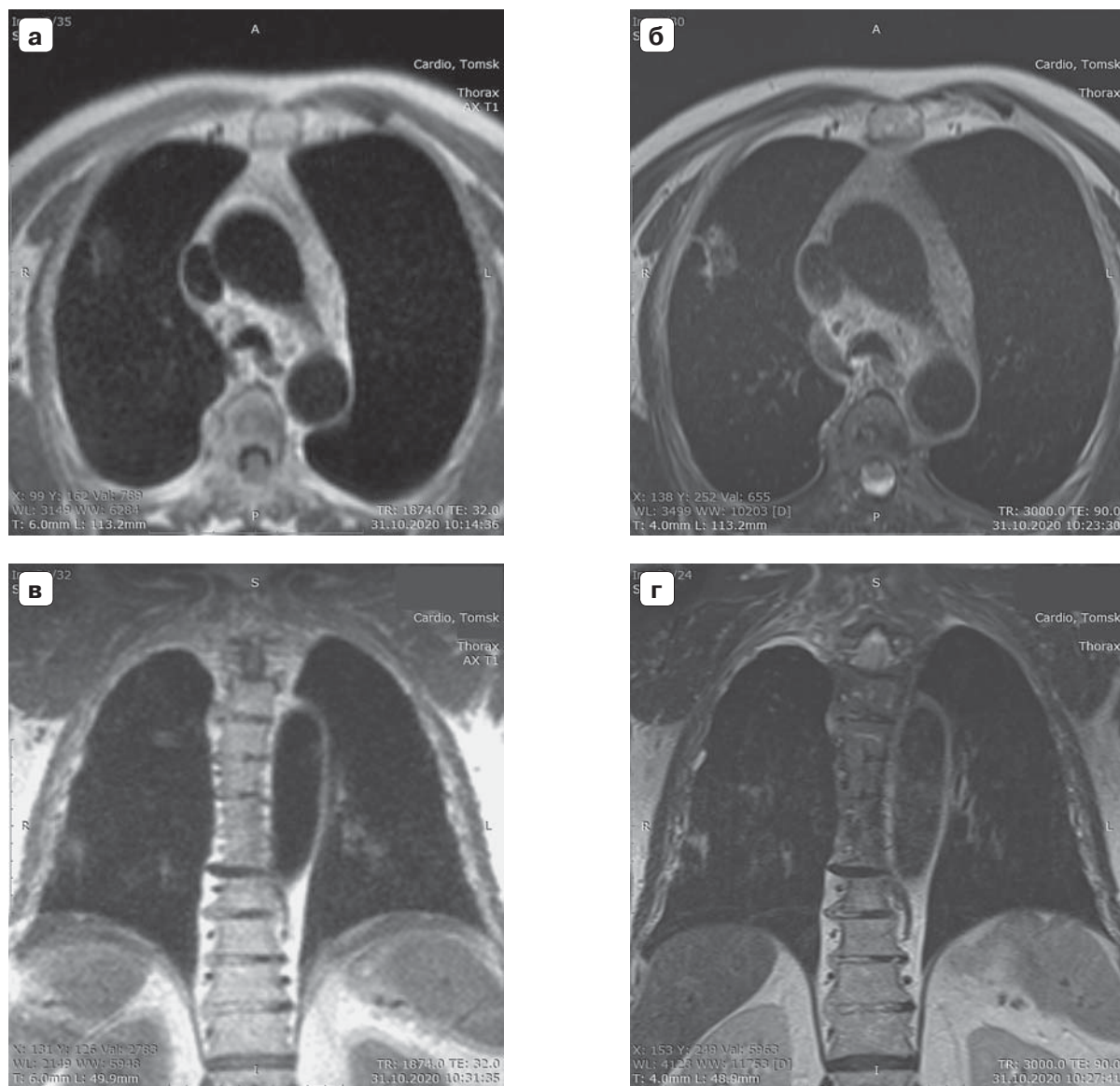
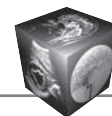


Рис. 4. Картина МРТ органов грудной клетки в T1-ВИ (а, в) и T2-ВИ (б, г) в аксиальных (верхний ряд) и фронтальных (нижний ряд) срезах, у пациента с краткосрочным – в течение двух суток – подъемом температуры тела до 38,2 °С и ПЦР-подтвержденным заражением COVID. Мелкоочаговые множественные участки по типу “матового стекла”, преимущественно в правом легком, с суммарным (по левому и правому легкому) вовлечением до 5% объема легких. На момент исследования $pO_2 = 98\%$.

Fig. 4. MRI of the chest organs in T1-w (а, в) and T2-w (б, г) in axial (upper row) and frontal (lower row) sections, in a patient with a short – term – within two days – rise in body temperature to 38.2 °C and PCR-confirmed COVID-19 infection. Small-focal multiple areas of the “frosted glass” type, mainly in the right lung, with total (left and right lung) involvement of up to 5% of the lung volume. At the time of the study, $pO_2 = 98\%$.

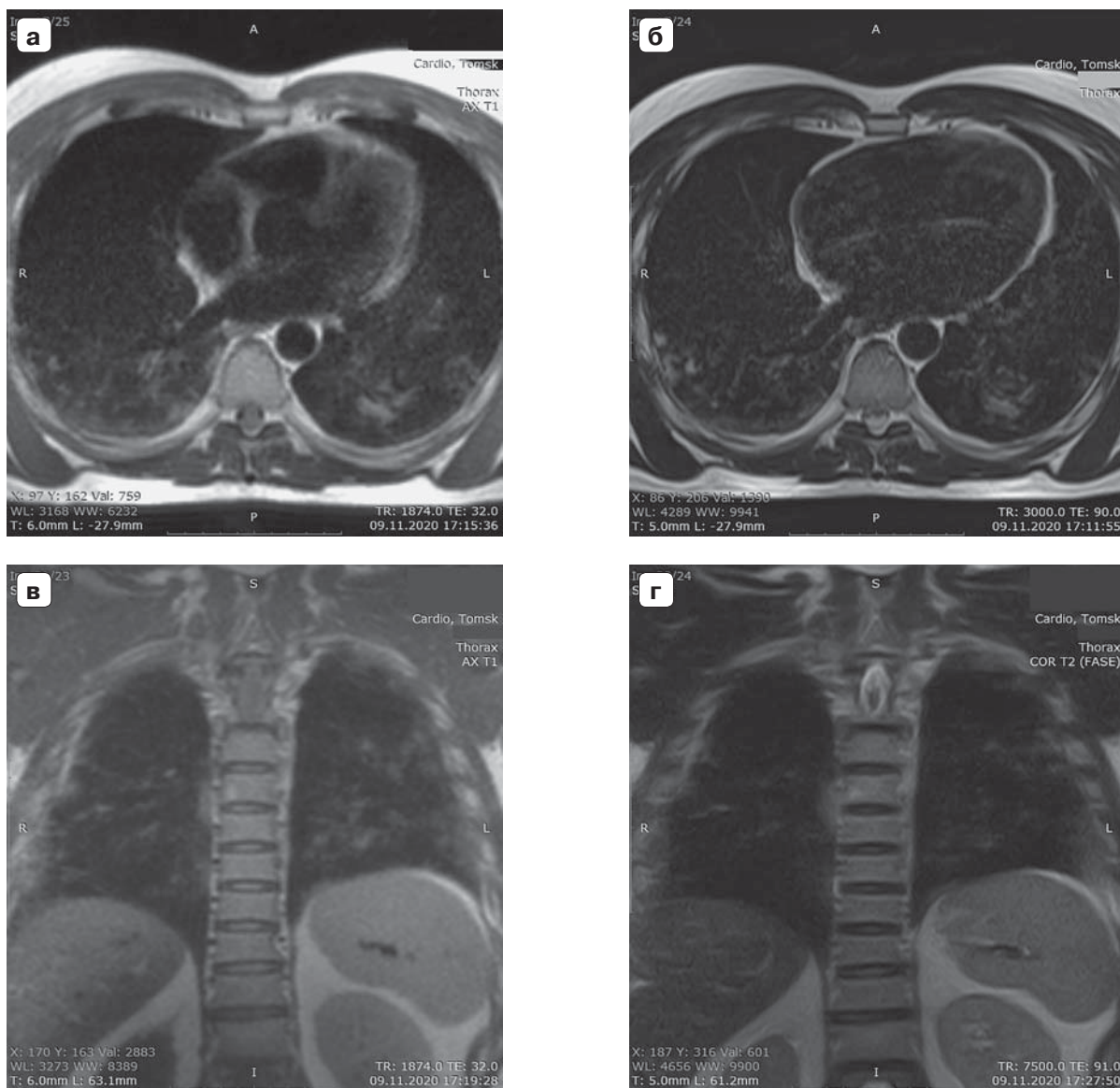
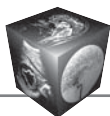


Рис. 5. Картина МРТ ОГК в T1ВИ (а, в) и T2ВИ (б, г) в аксиальных (верхний ряд) и фронтальных (нижний ряд) срезах при COVID-поражении легких с вовлечением до 25–28% объема легких, при расчете по аксиальным T1ВИ МРТ. На момент обследования сочетание гипертермии – до 39,3 °С, и снижения насыщения крови по кислороду pO_2 до 91%.

Fig. 5. MRI picture of chest in T1-w (а, в) and T2-w (б, г) in axial (upper row) and frontal (lower row) sections in COVID-lung lesions involving up to 25–28% of lung volume, when calculated using axial T1-w MRI. At the time of examination, the combination of hyperthermia up to 39.3 °C, and a decrease in blood oxygen saturation pO_2 down to 91%.

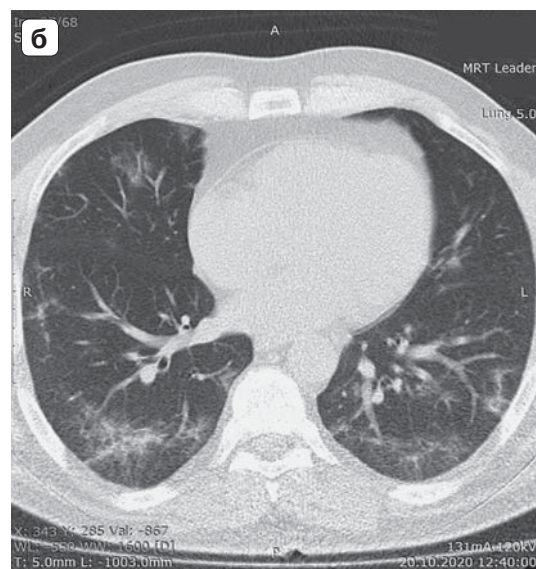
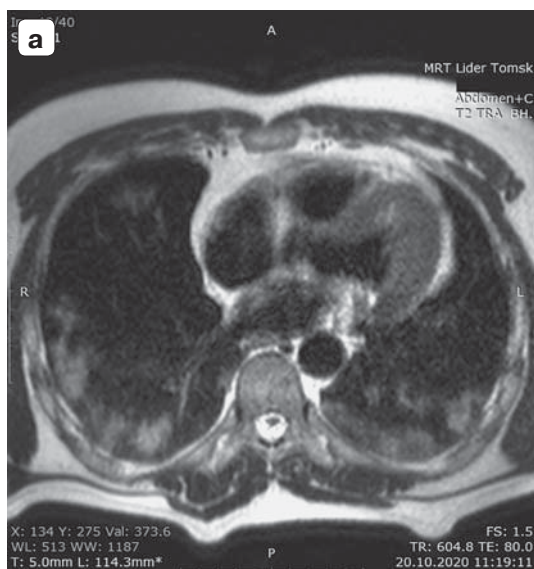
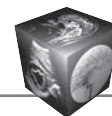


Рис 6. Сравнительная картина поражения легких при COVID-19, при визуализации T2ВИ МРТ (а) и СРКТ (б). Поражение с вовлечением до 21% объема по T2ВИ МРТ и до 17% по СРКТ.

Fig. 6. Comparative picture of lung lesion in COVID-19, when visualizing T2-w MRI (a) and chest CT (b). Lesion involving up to 21% of the volume on T2-w MRI and up to 17% on CT.

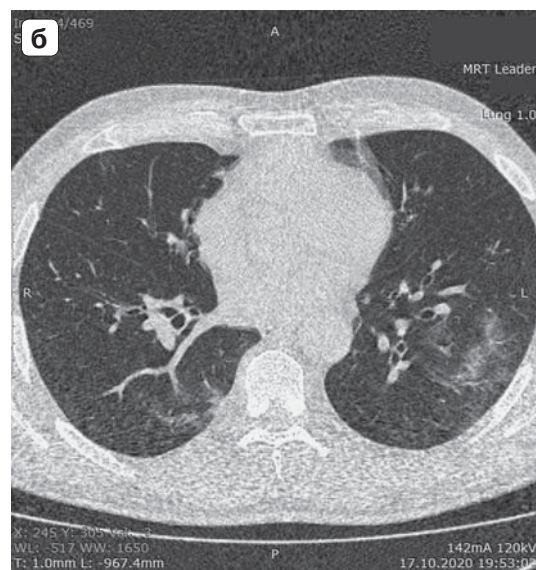
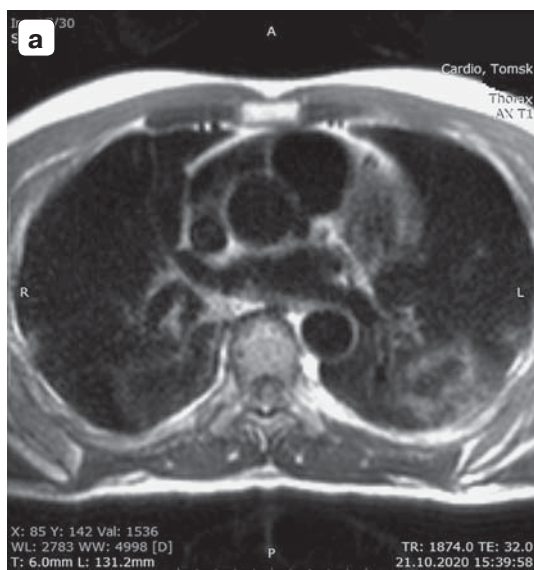


Рис. 7. Сравнение аксиальных томографических срезов T1ВИ МРТ (а) и СРКТ(б) органов грудной клетки пациента с двусторонней полисегментарной пневмонией и ПЦР-подтвержденным заражением вирусом COVID-19. Хорошо видны анатомически близкие, но не конгруэнтные очаги пневмонии в задних отделах обоих легких, при этом визуализируемый объем патологического процесса на МРТ-изображении заметно больше, чем на СРКТ (до 16,2% против 11,7%).

Fig. 7. Comparison of axial tomographic sections of T1-w MRI (a) and CT (b) of the chest organs of a patient with bilateral polysegmental pneumonia and PCR-confirmed infection with the COVID-19 virus. Anatomically close, but not congruent, foci of pneumonia in the posterior parts of both lungs are clearly visible, while the visualized volume of the pathological process on the MRI image is noticeably larger than on the CT (up to 16.2% vs. 11.7%).

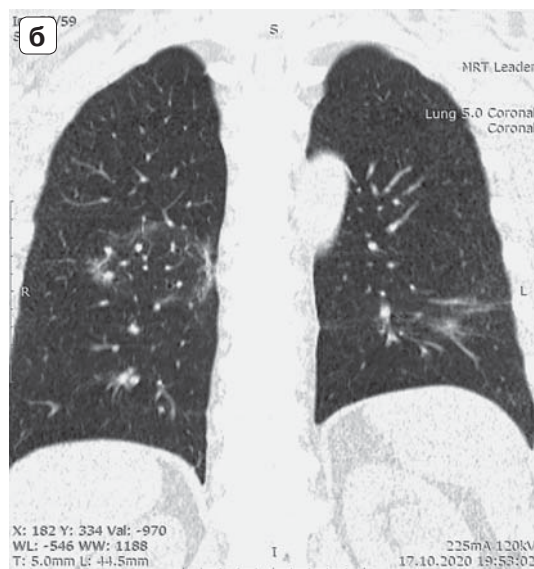
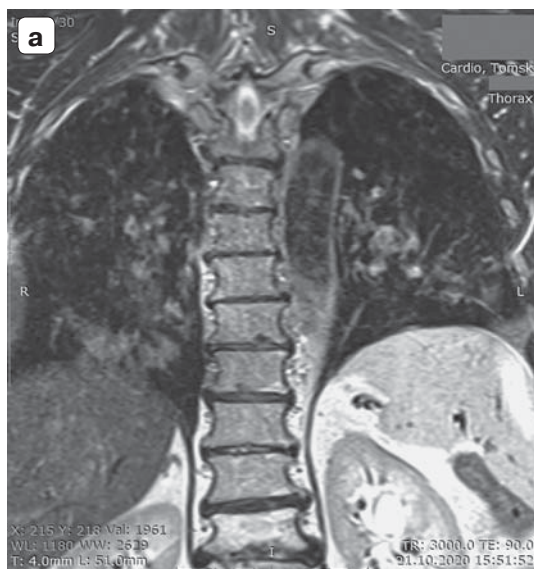
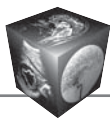


Рис. 8. Тот же пациент, что и на рис. 7, сравнение фронтальных томографических срезов T2-ВИ МРТ (а) и СРКТ (б). Фронтальные срезы задних отделов легких, на уровне середины тел позвонков грудного отдела позвоночника. Хорошо видны очаги пневмонии, объем патологического процесса на МРТ-изображении заметно больше чем на СРКТ.

Fig. 8. The same patient as in Fig. 7, comparison of frontal tomographic sections of T2-w MRI (a) and CT (b). Frontal slices of the posterior parts of the lungs, at the level of the mid of vertebral bodies of the thoracic spine. Foci of pneumonia are clearly visible, the volume of the pathological process on the MRI image is noticeably larger than on the CT.

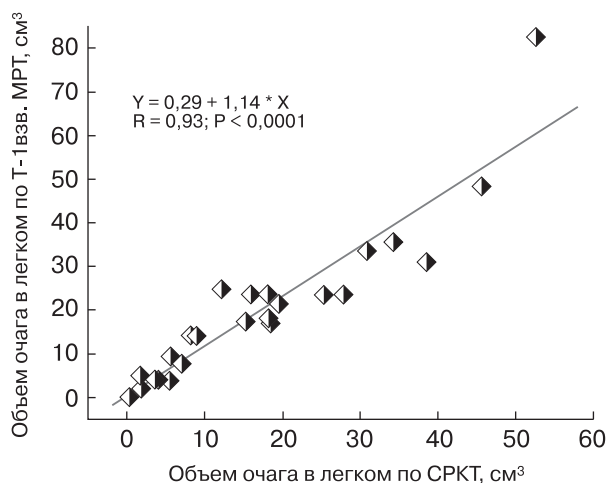
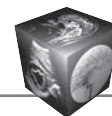


Рис. 9. Корреляция объемов очагов поражения паренхимы легких, определенных по данным СРКТ и по Т1ВИ МРТ в аксиальных плоскостях. Представлены случаи с временем между исследованиями менее полутора суток.

Fig. 9. Correlation of volumes of foci of lung parenchymal lesions determined by CT data and T1-w MRI in axial planes. Only cases with a time between studies of less than one and a half days are employed.

При этом результаты двух методов были тесно связаны и корреляция размеров зоны поражения и вычисленного объема пораженной ткани легкого между СРКТ и МРТ ОГК составила $r = 0,95$ ($p < 0,001$), как представлено на рис. 9. Величины объема пораженной ткани в T1- и T2- взвешенном изображении между собой при межгрупповом сравнении не различались и коррелировали сильно и достоверно, в частности $r = 0,985$ ($p < 0,001$).

Таким образом, МРТ ОГК позволяла визуализировать поражение легких в полном объеме и в оптимальной последовательности включала в себя T1ВИ и T2ВИ (с подавлением сигнала жира) протоколы, с синхронизацией по дыханию в аксиальных плоскостях, а также T2-взв. в фронтальных плоскостях с задержкой дыхания (длительность задержки 8 с), занимала менее 12 мин. “Протоколом выбора” – минимальным, обеспечивавшим визуализацию наличия ВП и оценку объема поражения, был T2-взв. протокол с синхронизацией по дыханию, или с задержкой дыхания, в аксиальных плоскостях, который позволял ответить на основные диагностические вопросы даже



в одиночку, на случай если бы исследование было прервано из-за невозможности пациента его продолжать.

МРТ в диффузионно-взвешенном режиме также показала в целом удовлетворительные результаты в выявлении COVID-поражения легких, с чувствительностью 81% (38/47) относительно СРКТ. Типичный пример исследования с хорошо видимой визуализацией поражения легочной ткани на T1- и T2-взвешенном исследовании и на диффузионно-взвешенном ($b = 800$) можно видеть на рис. 10. Однако продолжительность диффузи-

онно-взвешенного исследования во всех случаях была более 6 мин, более чем вдвое дольше всех других протоколов МРТ-исследования вместе взятых. Объем плеврального выпота, видимый при помощи T2ВИ, во всех случаях не превышал 100 мл.

При проспективном наблюдении у 8 пациентов с COVID-19, МРТ ОГК позволила во всех случаях доказательно визуализировать процесс выздоровления, с уменьшением или полным регрессом компонента экссудации. Типичный пример положительной динамики – ремиссии при ВП, вызванной COVID-19, можно видеть на рис. 11.

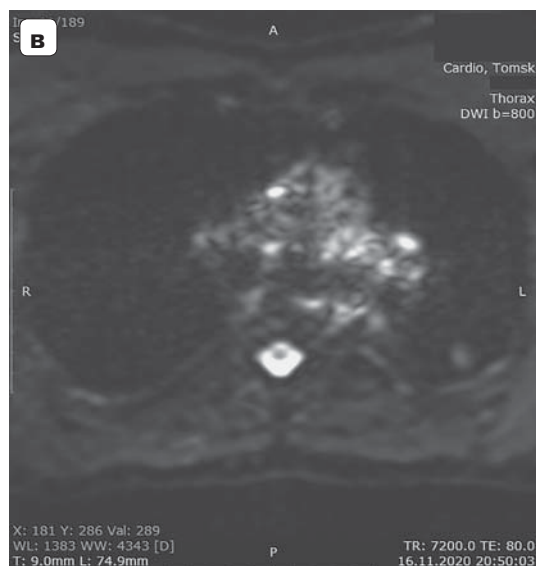
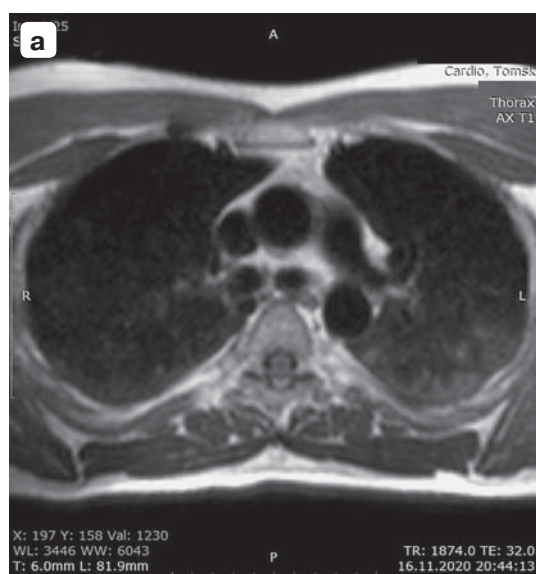


Рис.10. Типичный случай соотношения изображения пневмонического очага поражения – в задних отделах левого легкого, при МРТ ОГК у пациента с пневмонией и положительной пробой на COVID-19, в режимах T1ВИ (а), T2ВИ (б) и в диффузионно-взвешенном режиме с фактором $b = 800$ (в). Можно видеть лучшее разрешение по интенсивности и более протяженную область поражения, визуализированную с помощью T1ВИ, нежели чем T2ВИ МРТ и диффузионно-взвешенный режим.

Fig. 10. A typical case of correlation between images of pneumonic lesion in the posterior region of left lung, chest MRI in a patient with pneumonia and positive COVID-19 test, in modes T1-w (a), T2-w (б) and diffusion-weighted with factor $b = 800$ (в). You can see the best resolution in intensity and more extensive involved area, visualized using T1-w than T2-w MRI and diffusion-weighted mode.

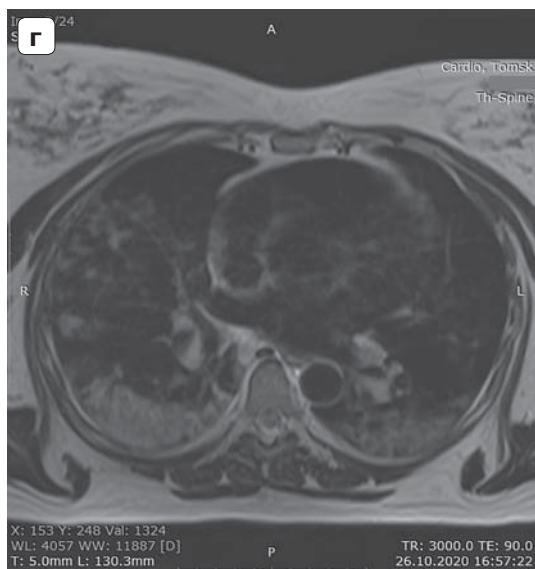
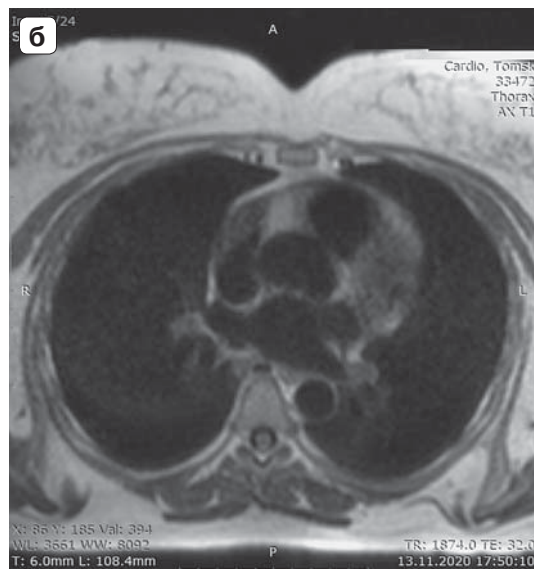
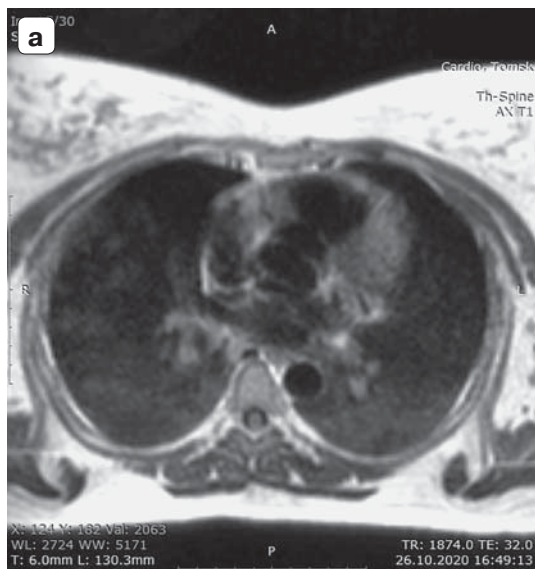
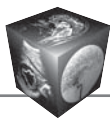


Рис. 11. МРТ ОГК в проспективном контроле состояния легких в динамике лечения пациентки с массивной двусторонней полисегментарной пневмонией, вызванной COVID-19 (подтверждено ПЦР). Сравнение картины аксиальных срезов МР-томограмм грудной клетки на уровне нижних легочных вен – предсердий, в T1ВИ – верхний ряд, и в T2ВИ – нижний ряд; представлены изображения в момент разгара заболевания (температура тела 39,2 °С, $pO_2 = 92\%$, объем пораженной ткани до 23–27% объема легких) – **а, в**, и спустя 11 дней (температура тела 36,8 °С, $pO_2 = 98\%$, объем пораженной ткани менее 5% объема легких) – **б, г**. Очевиден выраженный регресс, практически полное исчезновение признаков поражения легких.

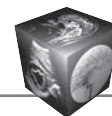
Fig. 11. MRI of chest in prospective monitoring of lungs in the follow-up of treatment of a patient with massive bilateral polysegmental pneumonia caused by COVID-19 (confirmed by PCR). Comparison of the picture of axial sections of chest MRI at the level of the lower pulmonary veins – atrii, in T1-w mode in the upper row, and in T2-w mode in lower row; images are presented at the top of

disease (body temperature 39.2 °С, $pO_2 = 92\%$, the volume of affected tissue up to 23–27% of the lung volume) – **а, в**, and in 11 days later (body temperature 36.8 °С, $pO_2 = 98\%$, the volume of affected tissue less than 5% of the lung volume) – **б, г**. Prominent regression is evident, with almost complete disappearance of signs of lung damage.

Обсуждение

Ранее, еще в начале 2000 г. один из авторов этой работы (НВН) на обширном клиническом материале сформулировал заключение, что МРТ явится наиболее адекватным средством проспективного контроля состояния легких при широком круге заболеваний [10, 11]. Это вполне убедительно было подтверждено позже в случае использования МРТ для диагностики и контроля эффективности терапии рака легкого [12–15]. Для случая пневмоний различного, в том числе и вирусного генеза, МРТ ОГК оказалась в целом не уступающей СРКТ по диагностическим показателям, и по-

зволяет адекватно оценить степень вовлечения ткани легкого в воспалительный процесс, дифференцировать с другими поражениями [7, 10, 16]. В сложившейся социально – медицинской ситуации последних месяцев были опубликованы ряд подборок клинических наблюдений МРТ ОГК при COVID-связанных пневмониях [7–9]. При этом было отмечено, что, несколько уступая СРКТ в первичной диагностике ВП, в первую очередь за счет больших временных затрат, МРТ ОГК тем не менее имеет принципиальные преимущества в проспективном наблюдении за счет отсутствия лучевой нагрузки [9]. Вслед за нашими публика-



циями немецкие авторы на одиночных демонстративных случаях подтвердили целесообразность использования низко- и среднепольной МРТ ОГК при COVID-19 [17].

Наши результаты здесь показывают, что МРТ ОГК является вполне адекватной методикой первичного выявления и проспективной оценки при такой сегодня в высшей степени социально-важной патологии, как поражения легких при COVID-19. Существенным недостатком МРТ ОГК является довольно значительное время на исследование, как уже отмечалось выше. Поэтому неразумно пытаться позиционировать МРТ ОГК как метод – прямой конкурент СРКТ ОГК. Вероятно поэтому в зарубежной практике фокус применения МРТ при COVID-19 сосредоточен на выявлении постковидных миокардитов [18–20] и микроциркуляторных ишемических поражений мозга [21].

Но в то же время столь же необоснованно пытаться совершенно игнорировать возможности МРТ ОГК в тех случаях, когда проспективный анализ состояния легких необходим многократно, в первую очередь для коррекции лечения и ликвидации рисков возможных осложнений. Важно, что среди наших обследованных мы ни разу не встретили случая, когда бы патология была визуализирована средствами СРКТ, а МРТ оказалась бы бессильна и неинформативна.

Диагностические свойства МРТ ОГК и в целом, и в частном данном случае диагностики вирусных пневмоний при COVID-19, смогут быть заметно улучшены уже в недалеком будущем за счет разработки и оптимизации специализированных протоколов МРТ-визуализации структур грудной клетки с пространственной толщиной среза в 2–3 мм, а возможно и меньше, на что прямо указывалось как раз перед началом развернувшейся эпидемии COVID-19 [14, 15].

Особое значение имеет также дифференциация интерстициального и внутриальвеолярного компонентов экссудативных патологических процессов при воспалении в легочной ткани [22], а не только констатация ее патологической обводненности, стаза и затем формирования очагового фиброза. Учитывая, что в формирование МРТ-изображений легких свой вклад вносят не единственный параметр рентгеновской плотности ткани, как при СРКТ, а целый ряд – степень гидратации ткани, наличие стаза крови и/или свободных продуктов распада гемоглобина, формирование фиброза в исходе перенесенного воспаления, представляется логичным, что у наших пациентов объем зоны поражения на МРТ-сканах был больше, чем на СРКТ-изображениях (см. рис. 8, 9) на 10–15%, в первую очередь на Т2ВИ.

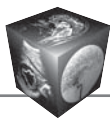
Вероятно, надежное решение проблемы дифференциации интерстициального и внутриальвеолярного компонентов экссудативных патологических процессов возможно на путях сочетания уже разработанных методик МРТ легких и апробируемой сегодня ингаляционной МРТ легких с мелкодисперсными аэрозолями парамагнетиков, которые напрямую позволили бы контрастировать вентилируемый объем легочной паренхимы.

Ранее сообщалось о принципиальной возможности визуализации дыхательного объема легких с помощью парамагнитных газообразных смесей фтора [23]. Однако, поскольку получение аэрозолей легких на основе комплексов ДТПА с радионуклидами и парамагнетиками несравнимо проще [5, 6], практическое внедрение вентилирующей МРТ ОГК с аэрозолями обычных парамагнитных контрастных препаратов может оказаться быстрее и доступнее. Разработка этой технологии нами завершается и в ближайшее время она также будет представлена как функциональное дополнение к анатомической СРКТ или МРТ-визуализации грудной клетки.

Однако уже достигнутые результаты испытания возможностей МРТ ОГК для первичной диагностики и проспективной оценки при вирусных пневмониях позволяют уверенно утверждать, что этот метод является надежным, нетрудным и необременительным для пациента в выполнении, и высокодостоверно коррелирующим с методом стандарта при вирусных пневмониях – СРКТ ОГК, но уступающим ей по длительности выполнения процедуры. Это подтверждает целесообразность использования МРТ ОГК при вирусных пневмониях как дополнительного метода, особенно при необходимости повторных многократных контрольных исследований, или как компонент арсенала исследовательских клинических технологий, крайне важных в современных исследованиях патофизиологии вирусных пневмоний и в объективизации результатов различных методов их лечения.

Заключение

МРТ органов грудной клетки с дыхательной синхронизацией или с задержкой дыхания может использоваться для ранней диагностики воспалительных поражений легких при COVID-вирусных пневмониях и их последующем проспективном контроле, как при нормальных, так и при сниженных показателях насыщения крови кислородом, не сопровождается лучевой нагрузкой и высокодостоверно коррелирует с результатами СРКТ грудной клетки как современного стандарта диагностики пневмоний.

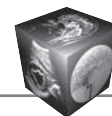


Список литературы

1. Чучалин А.Г. Пневмонии-2020. *Московская медицина*. 2020; S2 (36): 12–13.
2. Першина Е.С., Черняев А.Л., Самсонова М.В., Варясин В.В., Омарова Ж.Р., Перешивайлов С.О., Бережная Э.Э., Паршин В.В., Михайличенко К.Ю., Шилова А.С., Щекочихин Д.Ю., Гиляров М.Ю. Сопоставление рентгенологической и патоморфологической картины легких у пациентов с COVID-19. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (3): 37–53. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-37-53>
3. Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Зеликман М.И., Кручинин С.А., Иванов И.В. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018; 8 (3): 60–73. <http://dx.doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73>
4. Строкова Л.А., Егоров Е.Ю. Опыт проведения ультразвукового исследования легких при внебольничной пневмонии COVID-19. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020; 11 (2): 99–106. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-99-106>
5. Лишманов Ю.Б., Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С. К вопросу о лучевой дифференцировке синдромо-сходной патологии легких. Возможности использования вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии. *Лучевая диагностика и терапия*. 2010; 2 (1): 4–11.
6. Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С., Мишустина Е.Л., Дубоделова А.В., Демьяненко Н.Ю., Дубоделов Е.Л. Интегральные и регионарные показатели вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии у здоровых лиц. *Современные наукоемкие технологии*. 2008; 3: 15–17.
7. Усов В.Ю., Нуднов Н.В., Игнатенко Г.А., Фисенко А.Ю., Гуляев В.М., Марицкий С.В., Калюжин В.В., Лукьяненко П.И. Оценка поражения легких при внебольничных пневмониях по данным магнитно-резонансной томографии при первичной диагностике и в ходе лечения. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (2): 63–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-63-77>
8. Цориев А.Э., Мешков А.В., Гиголаев Д.А., Кучиев З.О., Алиев Р.Х., Шарбузов А.А. Применение МРТ легких при COVID-19 инфекции. *Лучевая диагностика и терапия*. 2020; 11 (2): 49–57. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-49-57>
9. Лесняк В.Н., Журавлева В.А., Аверьянов А.В. Возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике поражений легких при COVID-19. *Клиническая практика*. 2020; 11 (2): 51–59. <https://doi.org/10.17816/clinpract34843>
10. Гамова Е.В., Нуднов Н.В. Магнитно-резонансная диагностика воспалительных заболеваний легких. *Медицинская визуализация*. 2006; 10 (5): 88–94.
11. Гамова Е.В., Нуднов Н.В. Возможности МРТ в дифференциальной диагностике периферического рака легкого воспалительных изменений. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2006; 4: 19–23.
12. Усов В.Ю., Белянин М.Л., Безлепкин А.И., Бородин О.Ю., Филимонов В.Д. Парамагнитное контрастирование опухолевых поражений легких Пентамангом 1,0 М в эксперименте. *Український радіологічний журнал*. 2010; 18 (3): 359–366.
13. Лукьяненко П.И., Усов В.Ю., Коломиец С.А., Мочула О.В., Миллер С.В. Возможности магнитно-резонансной томографии с контрастированием в диагностике рака легкого. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; (11–3): 455–459.
14. Котляров П.М., Лагуева И.Д., Сергеев Н.И., Солодкий В.А. Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний легких. *Пульмонология*. 2018; 28 (2): 217–233. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-233>
15. Ахадов Т.А., Гурьяков С.Ю., Ублинский М.В. Магнитно-резонансная томография в исследовании легких. *Медицинская визуализация*. 2019; 23 (4): 10–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-4-10-23>
16. Коновалов В.К., Шойхет Я.Н. Магнитно-резонансная томография при некоторых заболеваниях грудной клетки. *Пульмонология*. 2003; 4: 57–62.
17. Heiss R., Grodzki D.M., Horger W., Uder M., Nagel A.M., Bickelhaupt S. High-performance low field MRI enables visualization of persistent pulmonary damage after COVID-19. *Magn. Reson. Imaging*. 2020 Nov 18; 76: 49–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2020.11.004>
18. Ho J.S., Sia C.H., Chan M.Y., Lin W., Wong R.C. Coronavirus-induced myocarditis: A meta-summary of cases. *Heart Lung*. 2020 Nov–Dec; 49 (6): 681–685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hrtlng.2020.08.013>
19. Citro R., Pontone G., Bellino M., Silverio A., Iuliano G., Baggiano A., Manka R., Iesu S., Vecchione C., Asch F.M., Ghadri J.R., Templin Ch. Role of multimodality imaging in evaluation of cardiovascular involvement in COVID-19. *Trends Cardiovasc. Med*. 2020; 9: 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2020.10.00>
20. Agricola E., Beneduce A., Esposito A., Ingallina G., Palumbo D., Palmisano A., Ancona F., Baldetti L., Pagnesi M., Melisurgo G., Zangrillo A., De Cobelli F. Heart and Lung Multimodality Imaging in COVID-19. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (8): 1792–1808. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.05.017>
21. Al Mazrouei SS, Saeed GA, Al Helali AA, Ahmed M. COVID-19-associated encephalopathy: Neurological manifestation of COVID-19. *Radiol. Case Rep*. 2020; 15 (9): 1646–1649. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radcr.2020.07.009>
22. Климова Н.В., Гаус А.А., Шурыгина И.Л., Зинченко О.А., Крысан У.Б. Патология легких при ВИЧ-инфекции. *Вестник СурГУ. Медицина*. 2013; 1 (15): 10–15.
23. Павлова О.С., Волков Д.В., Гуляев М.В., Костромина М.С., Гервиц Л.Л., Анисимов Н.В., Пирогов Ю.А. Магнитно-резонансная визуализация легких на ядрах фтора-19 с применением газа перфторциклобутана. *Медицинская физика*. 2017; 4 (76): 59–64.

References

1. Chuchalin A.G. Pneumonias-2020. *Moscow medicine*. 2020; S2 (36): 12–13. (In Russian)
2. Pershina E.S., Cherniaev A.L., Samsonova M.V., Varyasin V.V., Omarova Z.R., Pereshivailov S.O., Berezhnaia E.E., Parshin V.V., Mikhailichenko K.Yu., Shilova A.S., Shchekochikhin D.Y., Gilyarov M.Y. Comparison of the CT patterns and pulmonary histology in patients with COVID-19. *Medical Visualization*. 2020; 24 (3): 37–53. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-37-53> (In Russian)



3. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Ivanov I.V. Main directions of reducing patient irradiation doses in computed tomography. *REJR*. 2018; 8 (3): 60–73. <http://dx.doi.org/10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73> (In Russian)
4. Strokova L.A., Egorov E.Yu. Experience in conducting lung ultrasound in community-acquired pneumonia COVID-19. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020; 11 (2): 99–106. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-99-106> (In Russian)
5. Lishmanov Yu.B., Krivonogov N.G., Ageeva T.S.. On X-ray differentiation of syndrome-like lung pathology. Abilities of ventilation – perfusion pulmonoscintigraphy. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2010; 2 (1): 4–11. (In Russian)
6. Krivonogov N.G., Ageeva T.S., Mishustina E.L., Dubodelova A.V., Demyanenko N.Yu., Dubodelov E.L. Integral and regional indexes of ventilation – perfusion pulmonoscintigraphy in healthy persons. *Modern high-tech technologies*. 2008; 3: 15. (In Russian)
7. Ussov W.Yu., Nudnov N.V., Ignatenko G.A., Fisenko A.Yu., Gulyaev V.M., Maritskii S.V., Kalyuzhin V.V., Lukyanenok P.I. Evaluation of lung damage in pneumonia, from chest magnetic resonance imaging, in primary diagnosis and in the follow-up of treatment. *Medical Visualization*. 2020; 24 (2): 63–77. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-2-63-77> (In Russian)
8. Tsoriev A.E., Meshkov A.V., Gigolaev D.A., Kuchiev Z.O., Aliev R.Kh., Sharbuzov A.A. The application of lung MRI in cases of COVID-19 infection. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020; 11 (2): 49–57. <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-49-57> (In Russian)
9. Lesnyak V.N., Zhuravleva V.A., Averyanov A.V. The capabilities of MRI in the lung lesions diagnosis in patients with COVID-19. *Clinical practice*. 2020; 11 (2): 51–59. <https://doi.org/10.17816/clinpract34843> (In Russian)
10. Gamova E.V., Nudnov N.V. Magnetic Resonance Imaging of Inflammatory Lungs' Diseases. *Medical Visualization*. 2006; 10 (5): 88–94. (In Russian)
11. Gamova Ye.V., Nudnov N.V. Potentialities of MRI in the differential diagnosis of peripheral lung cancer and inflammatory changes. *Russian Journal of Radiology*. 2006; 4: 19–23. (In Russian)
12. Ussov W.Yu., Belianin M.L., Bezlepkina A.I., Borodin O.Yu., Filimonov V.D. Paramagnetic contrast enhancement of lungs with Pentamang 1,0 M in experiment. *Ukrainian Journal of Radiology*. 2010; 18 (3): 359–366. (In Russian)
13. Lukyanenok P.I., Ussov W.Y., Kolomiets S.A., Mochula O.V., Miller S.V. Possibilities of MRI with contrast in the diagnosis of lung cancer. *International Journal of applied and fundamental studies*. 2014; (11–3): 455–459. (In Russian)
14. Kotlyarov P.M., Lagkuyeva I.D., Sergeyev N.I., Solodkiy V.A. Magnetic resonance imaging for diagnostics of lung diseases. *Pulmonologiya*. 2018; 28 (2): 217–233. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-2-217-233> (In Russian)
15. Akhadov T.A., Guryakov S.Yu., Ublinsky M.V. Magnetic resonance imaging in study of lungs. *Medical Visualization*. 2019; 23 (4): 10–23. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2019-4-10-23> (In Russian)
16. Konovalov V.K., Shoikhet Ja.H. Magnetic resonance imaging in some chest diseases. *Pulmonologiya*. 2003; 4: 57–62. (In Russian)
17. Heiss R., Grodzki D.M., Horger W., Uder M., Nagel A.M., Bickelhaupt S. High-performance low field MRI enables visualization of persistent pulmonary damage after COVID-19. *Magn. Reson. Imaging*. 2020 Nov 18; 76: 49–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2020.11.004>.
18. Ho J.S., Sia C.H., Chan M.Y., Lin W., Wong R.C. Coronavirus-induced myocarditis: A meta-summary of cases. *Heart Lung*. 2020 Nov–Dec; 49 (6): 681–685. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hrtlng.2020.08.013>.
19. Citro R., Pontone G., Bellino M., Silverio A., Iuliano G., Baggiano A., Manka R., Iesu S., Vecchione C., Asch F.M., Ghadri J.R., Templin Ch. Role of multimodality imaging in evaluation of cardiovascular involvement in COVID-19. *Trends Cardiovasc. Med*. 2020; 9: 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2020.10.00>
20. Agricola E., Beneduce A., Esposito A., Ingallina G., Palumbo D., Palmisano A., Ancona F., Baldetti L., Pagnesi M., Melisurgo G., Zangrillo A., De Cobelli F. Heart and Lung Multimodality Imaging in COVID-19. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2020; 13 (8): 1792–1808. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.05.017>
21. Al Mazrouei SS, Saeed GA, Al Helali AA, Ahmed M. COVID-19-associated encephalopathy: Neurological manifestation of COVID-19. *Radiol. Case Rep*. 2020; 15 (9): 1646–1649. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radcr.2020.07.009>
22. Klimova N.V., Gaus A.A., Shuragina I.L., Zinchenko O.A., Krysan U.B. Lung disease in HIV infection. *Bulletin of the Surgut State University. Medicine*. 2013; 1 (15): 10–15. (In Russian)
23. Pavlova O.S., Volkov D.V., Gulyaev M.V., Kostromina M.S., Gervits L.L., Anisimov N.V., Pirogov Yu.A. Magnetic resonance imaging of the lungs on fluorine-19 nuclei with application of gas perfluorocyclobutane. *Medical Physics*. 2017; 4 (76): 59–64. (In Russian)

Для корреспонденции*: Усов Владимир Юрьевич – 634012 Томск, Россия, ул. Киевская, 111. НИИ кардиологии ТНИМЦ РАН. Тел.: +7-903-951-26-76. E-mail: ussov1962@yandex.ru

Усов Владимир Юрьевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора ФГБУ РНЦПР по науке, заведующий кафедрой лучевой диагностики и маммологии ФГУ ИПК ФМБА, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Игнатенко Григорий Анатольевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтической и внутренней медицины, ректор Донецкого национального медицинского университета имени М. Горького, член-корр. Национальной Академии медицинских наук Украины, Донецк. <https://orcid.org/0000-0003-3611-1186>

Гуляев Всеволод Мильевич – канд. мед. наук, заведующий кабинетом рентгеновской компьютерной томографии отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-4791-8754>

Первак Марина Борисовна – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Донецкого национального медицинского университета имени М. Горького, Донецк.



Шелковникова Татьяна Александровна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0007-8089-2851>

Дубовая Анна Валерьевна – доктор мед. наук, профессор кафедры пропедевтики педиатрии, проректор Донецкого национального медицинского университета имени М. Горького, Донецк. <https://orcid.org/0000-0002-7999-8656>

Берген Татьяна Андреевна – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник, зав отделением лучевой диагностики ФГБУ «НМИЦ имени академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0003-1530-1327>

Contact*: Wladimir Yu. Ussov – 634012 Kievskaya str., 111, Tomsk, Russia. Institute of Cardiology of the Tomsk National medical research Center of the Russian Academy of Sciences. Phone: +7-903-951-26-76. E-mail: ussov1962@yandex.ru

Wladimir Yu. Ussov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk National medical Research Center. <https://orcid.org/0000-0001-7978-5514>

Nikolay V. Nudnov – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Vice-Director (Science) of the Russian National Center of Radiology, Head of the Chair of diagnostic radiology and mammology of the Federal Russian postgraduate Institute of the Federal medico-biological Agency, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Grigory A. Ignatenko – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of internal medicine, Rector of the M. Gorky Donetsk National Medical University, corresponding Member of the National Academy of medical sciences of Ukraine, Donetsk. <https://orcid.org/0000-0003-3611-1186>

Vsevolod M. Gulyaev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the CT service of the X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk National medical Research Center of the Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-4791-8754>

Marina B. Pervak – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the department of diagnostic radiology and radiation therapy, of the M. Gorky Donetsk National medical university, Donetsk.

Tatiana A. Shelkovnikova – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, X-ray and Tomographic Methods of Diagnosis, Research Institute of Cardiology of the Tomsk national medical research center, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0007-8089-2851>

Anna V. Dubovaya – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Vice Rector of the M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk. <https://orcid.org/0000-0002-7999-8656>

Tatiana A. Bergen – Cand. of Sci. (Med.), leading researcher, Head of the Diagnostic Radiology Department of the Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of Russian Federation, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-1530-1327>